

Delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, departamento de Madriz, Nicaragua

Delimitation of potential water recharge zones in the upper hydrographic unit Quebrada Arriba, department of Madriz, Nicaragua

Amarus A. Urbina-G.¹* y Eddy Vladimir Maradiaga-F.²

1. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua

2. Fundación Aldea, Jinotega, Nicaragua

*Autor de correspondencia: amaruz.au@gmail.com

Recibido: 02 de noviembre de 2020

Aceptado: 03 de marzo de 2021

Publicación en línea: 22 de abril de 2021

Resumen

Palabras clave:
unidad hidrográfica; infiltración;
manejo de agua; mapeo de zonas;
conservación de recursos

El agua subterránea es un recurso indispensable para el abastecimiento, consumo humano y desarrollo de actividades agropecuarias en las zonas rurales del país. Con el propósito de desarrollar estrategias, acciones de conservación y manejo de agua por parte de los comunitarios, se aplicó el mapeo de zonas potenciales de recarga hídrica, en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, ubicada en el municipio de Yalaguina, Departamento de Madriz, Nicaragua. El mapa de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica (ZPRH) aporta un valioso instrumento de trabajo para la gestión ambiental, y ofrece los elementos esenciales para el desarrollo de una política de ordenamiento del territorio. La metodología empleada, permitió delimitar unidades espaciales de recarga hídrica de forma integral y asocia variables ambientales, como factores morfológicos, edáficos y efectos antrópicos, como elementos que rigen el almacenamiento y movimiento de agua en el recurso suelo. El estudio determinó que en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba hay cuatro categorías de posibilidad de recarga, que oscilan en una muy baja posibilidad con un área de 91 ha (14 %) 286 ha en categoría de baja recarga (44 %), seguida por una moderada posibilidad en 214,5 ha (33 %), y alta posibilidad de recarga en 58,5 ha (9 %). En consecuencia, el contexto físico de la cuenca se clasifica como moderada capacidad de infiltración de agua en el suelo. Se concluye que, en las zonas con posibilidad de recarga baja y moderada son las áreas por priorizar, con acciones encaminadas a protección y conservación de recursos naturales.

Abstract

Key words:
hydrographic unit; infiltration; water
management; zone mapping;
conservation of resources

Groundwater is an indispensable resource for the supply of water for human consumption and the development of agricultural activities in rural areas of the country. In order to develop strategies and actions of conservation and water management by the communities, the mapping of potential water recharge zones was applied, in the hydrographic unit Quebrada Arriba, located in the municipality of Yalaguina, Department of Madriz, Nicaragua. The Water Recharge Potential Zones (ZPRH) map provides a valuable working tool for environmental management and provides the essential elements for the development of a territory management policy. The methodology allowed to delimit spatial units of water recharge in an integral way and associates environmental variables, such as morphological factors, soils and anthropic effects, as elements that govern the storage and movement of water in the soil resource. The study determined that in the Quebrada Arriba hydrographic unit there are 4 categories of recharge possibility, ranging in a very low possibility with an area of 91 ha (14 %) 286 ha in low recharge category (44 %), followed by a moderate possibility in 214.5 ha (33 %), and high recharge chance at 58.5 ha (9 %). Consequently, the physical context of the basin is classified as moderate water infiltration capacity in the soil. It is concluded that, in areas with the possibility of low and moderate recharge are the areas to be prioritized, in actions aimed at the protection and conservation of natural resources.



Introducción

El agua del subsuelo es un recurso de gran importancia, pero de difícil manejo, debido a su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación (Ordoñez Gálvez, 2011; Buenaño *et al.*, 2018). Nicaragua cuenta con múltiples riquezas naturales y condiciones que favorecen el desarrollo agrícola, pecuario y agroindustrial (Enacal, 2004; Sánchez-Merlos, 2005).

Recarga hídrica es la capacidad del suelo para retener y almacenar agua, lo que a su vez permite el flujo horizontal y vertical de esta como escurrimiento subterráneo y recarga de acuíferos respectivamente (González-Carrasco, 2011). El recurso hídrico es indispensable para el abastecimiento de agua de consumo humano y desarrollo de actividades agropecuarias en las zonas rurales del país (Barranco Salazar, 2018). Sin embargo, muchas de las actividades humanas, como la degradación de los suelos por el mal manejo y la pérdida de los bosques, propician la erosión y cambios en los regímenes de infiltración (Rodríguez, y Pérez-Álvarez, 2014). Adicionalmente estos problemas ambientales limitan la capacidad natural de recarga en acuíferos (International Union of Soil Sciences (IUSS), 2008).

Según la Sociedad Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés) en 2013 como un producto complementario al IV Censo Nacional Agropecuario, el Ministerio de Agricultura de Nicaragua (MAG) elaboró un mapa de escala nacional de regiones Potencial de Recarga Hídrica donde se utilizaron los siguientes criterios: perfil del suelo (profundidad, textura, drenaje y estructura) y topografía (pendiente). A partir de esta información se determinaron las superficies con mayor o menor capacidad de infiltración de agua para recarga subterránea y se clasificaron en tres tipos de recarga hídrica, siendo estas, alta, media y baja. Este estudio se hizo para todo el territorio, tomando en cuenta las propiedades concretas de cada cuenca hidrográfica del territorio. Los resultados del análisis evidenciaron que las regiones con más potencial de recarga hídrica se encuentran mayoritariamente en el sector central norte del territorio, en las piezas altas de la cuenca del flujo de agua Coco y del flujo de agua Enorme de Matagalpa. Cuantitativamente hay 45,209 ha clasificadas con elevado potencial de recarga hídrica, 571,289 ha con potencial de recarga hídrica media y 465,057 ha con potencial de recarga baja (Global Water Partnership, 2016).

La identificación, delimitación y caracterización de regiones potenciales de recarga hídrica en las cuencas es fundamental

para la defensa de las fuentes de agua que abastecen las sociedades, con objetivos de priorizar inversiones en la defensa, conservación y funcionamiento correcto de las mismas. Derivado de este contexto y tomando en consideración que la identificación y caracterización de zonas potenciales de recarga hídrica es una herramienta para la reducción del deterioro de los recursos naturales y, además, facilita un instrumento de planificación y gestión de los recursos hídricos. (Maderrey-Rascón, 2005). Se pretende describir y representar geográficamente en escala semidetallada (1: 25000) zonas con potenciales de recarga de agua en la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba, y de esta manera se desarrollen a futuro estrategias de conservación y protección en la cuenca, que garantice el funcionamiento del ciclo hidrológico, así como el bienestar y desarrollo económico de los actores locales del área de estudio.

Materiales y métodos

Descripción del sitio

la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba se encuentra localizada en el departamento de Madriz, y corresponde administrativa y geográficamente al municipio de Yalaguina, entre las coordenadas 13° 29' latitud norte y 86° 30' longitud oeste (Instituto de Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM), 2012). La cuenca tiene una extensión de 6,5 km², una elevación media de 806 m y corresponde al nivel 7 (45-9516828) de acuerdo con el sistema de clasificación Pfafstetter para Nicaragua (figura 1).

Proceso metodológico

El presente trabajo se sustenta en la metodología propuesta por Matus *et al.* (2009), aportando un valioso instrumento de trabajo para la gestión ambiental, que ofrece los elementos esenciales para el desarrollo de una política de ordenamiento del territorio. Este método sencillo y de bajo costo fue seleccionado porque considera factores que condicionan los procesos de recarga como: pendiente, suelos, geología, cobertura boscosa y uso de suelos. Se ha decidido aplicarlo en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, por encontrarse ubicado en el corredor seco nicaragüense, área geográficamente crítica en el tema de seguridad hídrica durante las últimas décadas. Tal como sugiere (Rodríguez, 2012). Para la optimización de recursos se han utilizado técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el fin de automatizar la ejecución del procesamiento de datos.

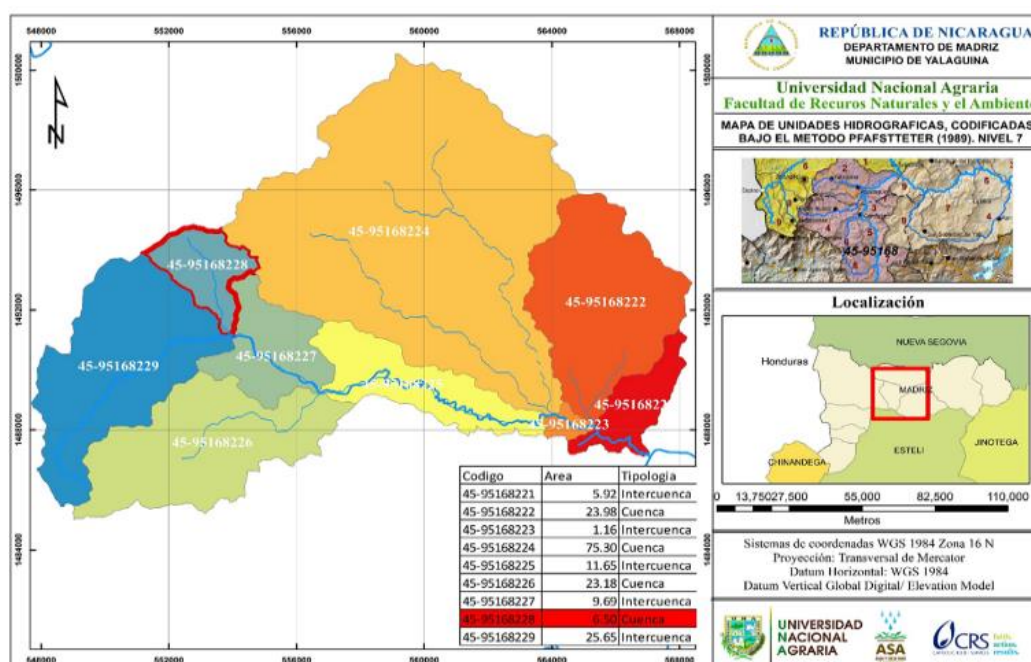


Figura1. Ubicación de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba.

Organización de la investigación

Partiendo de información edáfica actualizada de investigaciones realizadas en la localidad, se identificaron a través de los SIG unidades de intervención para el muestreo y análisis de las condiciones fisiográficas, sumado a la recopilación de información secundaria del municipio, permitiendo así el primer acercamiento con las posibles zonas potenciales de recarga hídrica. La información que se utilizó fue: mapa Geológico de INETER año 2014, mapa topográfico de INETER, año 1989, un modelo de elevación digital (DEM) con resolución espacial de 12,5 m, imágenes satelitales del software Terra Incógnita para la clasificación de los usos actuales de suelo y el levantamiento edáfico a escala semidetallada en el sitio (Urbina y Maradiaga, 2018).

Levantamiento en campo

Para la evaluación de los elementos del modelo propuesto se emplearon los siguientes aspectos: el tipo de suelo (textura de los horizontes), la pendiente y micro relieve (% o grado de inclinación del sitio), la cobertura forestal (% de dosel y sombra de las especies forestales), el tipo de roca (asociada a litología del lugar), el uso de suelo (incluye uso actual y cobertura del mismo).

De acuerdo con Gonzales y López (2019) para cada componente del modelo se elabora un mapa que representa la

posibilidad de recarga hídrica en función de las características particulares de cada uno que podrían incidir en que la posibilidad de recarga sea muy alta o baja. La ponderación que se utilizó en la evaluación de cada componente del modelo se encuentra entre valores de 1 a 5 según las diferentes situaciones que se pueden encontrar dentro de cada elemento evaluado, siendo 5 el valor máximo asignado a las zonas con mayor potencial de recarga y 1, el valor mínimo que se le asigna a las zonas con menor potencial de recarga hídrica (figura 2).

Análisis de la información

Una vez evaluados cada uno de los elementos del modelo y aplicada la ponderación correspondiente (tabla 1), se empleó la ecuación propuesta por Matus (2007), la cual se detalla a continuación.

$$ZPRH = 0,27 \text{ (Pend)} + 0,23 \text{ (Ts)} + 0,12 \text{ (Tr)} + 0,25 \text{ (Cve)} + 0,13 \text{ (Us)}$$

Donde:

Pend: Pendiente y Micro relieve

Ts: Tipo de suelo

Tr: Tipo de roca

Cve: Cobertura vegetal permanente

Us: Usos del suelo

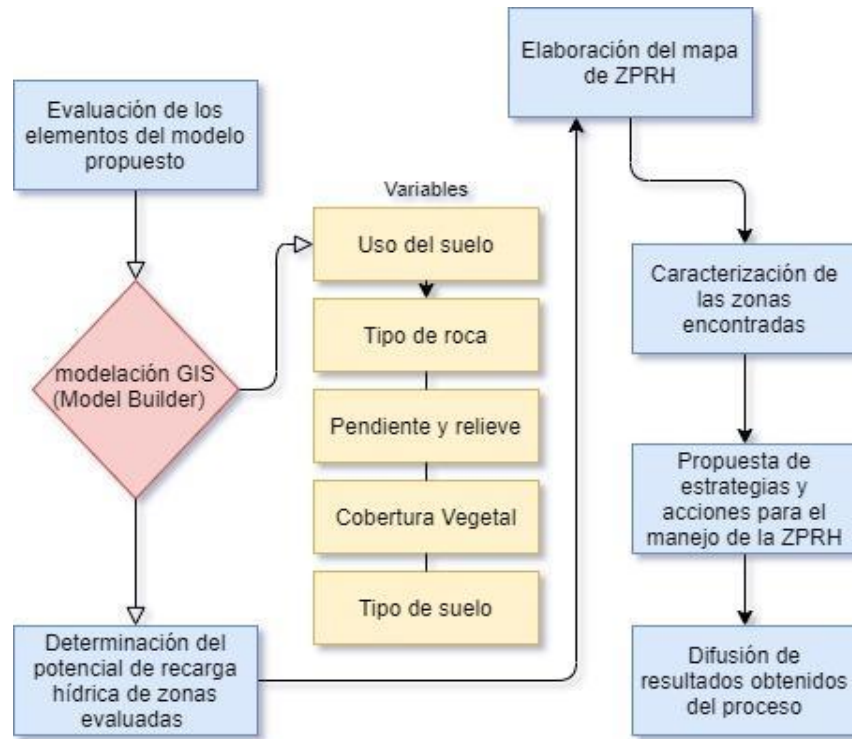


Figura 2. Flujograma para la determinación de ZPRH en la Unidad Hidrográfica QA.

Tabla 1. Posibilidades de Recarga Hídrica. (Fuente: Matus, 2007)

Posibilidad de Recarga Hídrica	Rango (adimensional)
Muy alta	4,1-5
Alta	3,5 – 4,09
Moderada	2,6 – 3,49
Baja	2 – 2,59
Muy baja	1 – 1,99

Resultados

Descripción de los suelos

De acuerdo con la clasificación sistemática de Porta *et al.* (2003) en la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba se identifican cinco subgrupos taxonómicos de suelo (figura 3): Typic Ustorthens (30 %), Typic Argiustolls (7,9 %), Typic Calciustep (13,2 %), Typic Haplustalf (35,09 %), Typic Haplustepts (14 %). En los cuales podemos encontrar una posibilidad de recarga predominante de baja y moderada por el tipo de textura presente en los endopedones y la alta presencia de rocas impermeables en los perfiles. A continuación, se describe los suelos de esta cuenca:

Typic Argiustolls: suelo resultado de la adición a largo plazo de

altos contenidos de materiales orgánicos. Además, son Suelo de color oscuro y alta fertilidad, reconocido como los suelos agrícolas más importantes desde el punto de vista productivo. Presentan un horizonte B enriquecido con arcilla y alto grado de humedad. Suelos con una posibilidad de recarga hídrica alta a muy alta por las condiciones que posee para la infiltración en sus horizontes.

Typic Calciustep: suelo de moderada fertilidad, conformado en la parte baja de la cuenca, desde deposiciones coluviales. Muestra horizonte superficial y subsuperficiales de color negro y textura de franco arcillosa a arcillosa, descansa sobre horizontes cámbico Bw1, Bw2. Este suelo muestra una disminución de calcio disponible, a partir de los endopedones hasta el horizonte superficial (A). Suelos con una probabilidad de recarga hídrica moderada a alta.

Typic Haplustepts: suelo mineral con débil desarrollo de horizontes, muestra una serie de pedogénesis de A-Bw1-Bw2-Cr y textura franco-arcillosa a arcillosa. Tienen escasa capacidad de retención de humedad y baja producción de

biomasa. Suelos con baja capacidad de recarga por la limitante arcillosa de su textura en los horizontes que limita la infiltración de agua subsuperficial por largos periodos de tiempos.

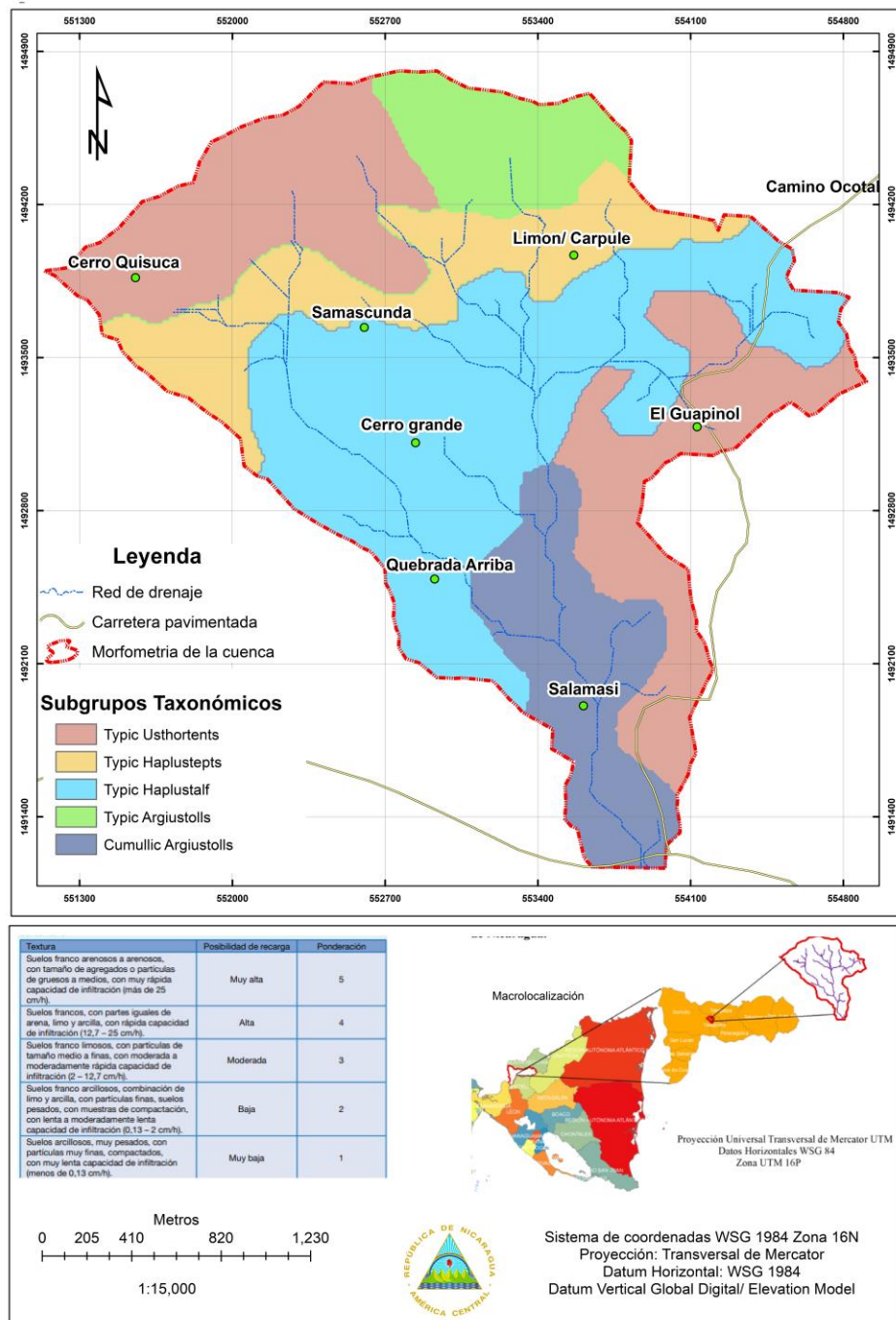


Figura 3. Subgrupos taxonómicos de suelo para la unidad geográfica QA.

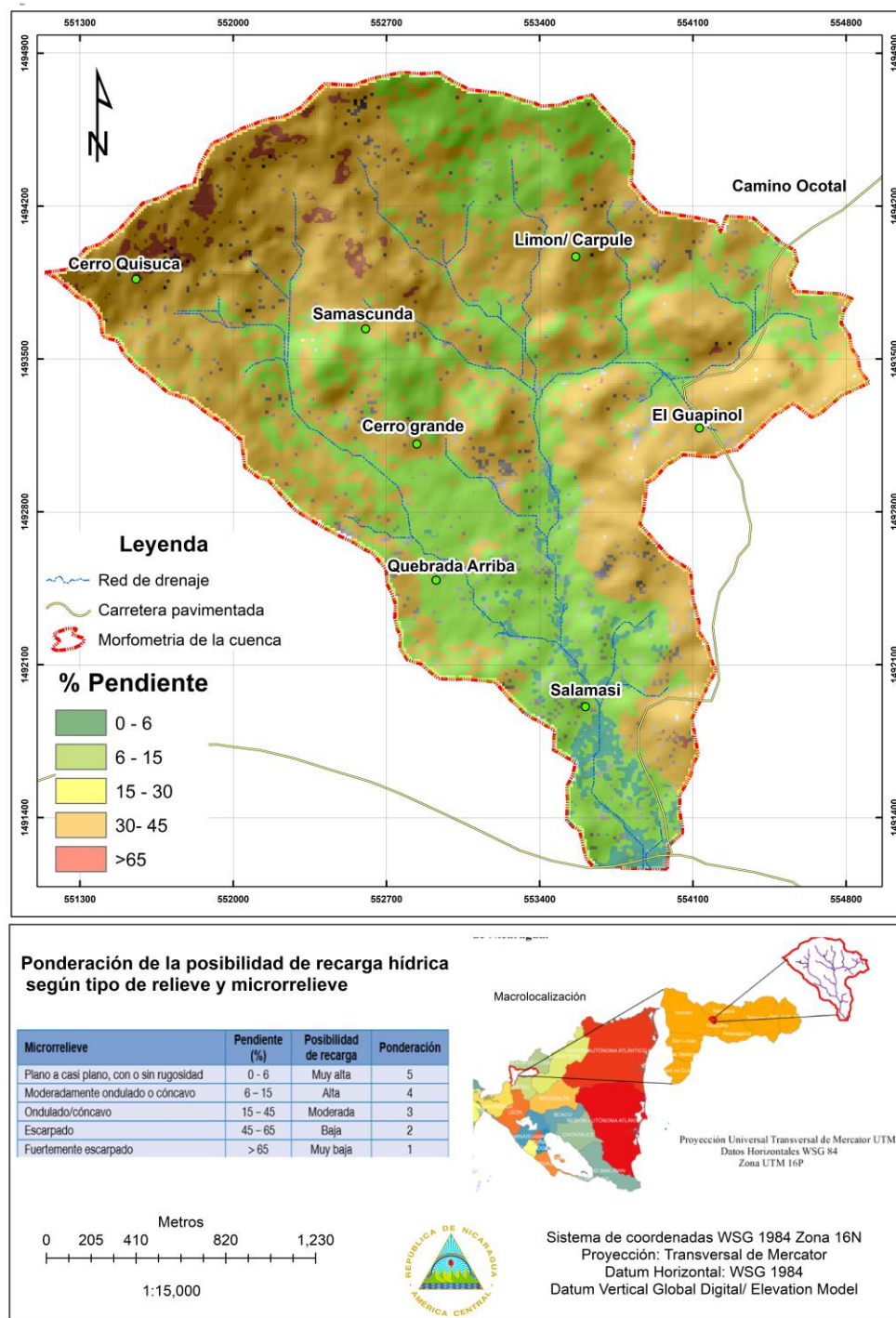


Figura 4. % pendiente de la unidad hidrográfica QA.

Typic Haplustalf: suelos predominantes en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, ocupando un área de 228 ha, para un 35,09 % del total del área de estudio. Las características de esta unidad de suelo fueron clasificadas como Alfisol de régimen de humedad ústico (llueve la mitad

del año y 6 meses con sequía) con presencia de epipedón Ótrico, que descansa sobre un horizonte argílico de acumulación de arcilla iluvial. La secuencia textural es arcillosa en el horizonte A y Bt respectivamente. Suelos con una capacidad moderada de recarga.

Typic Ustorthens: suelos superficiales con alta presencia de conglomerados rocosos en la superficie y dentro del perfil, característico de un suelo Entisol, con perfil A-R. Suelos con una posibilidad de recarga hídrica muy baja a baja dado que son suelos jóvenes o en desarrollo y que se encuentran situados en pendientes mayores de 30 % y por lo tanto no favorecen a la infiltración.

Porcentaje de pendiente del terreno

La Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba está constituida por un sistema montañoso de relieve que varía desde extremadamente ondulado a muy escarpado, con alturas predominantemente entre los 980 y 1 638 m. Las pendientes que más predominan son las que oscilan entre los 15 y 30 % de pendiente con un área total 203,89 ha corresponde al 31,36 % del área total de cuenca. Las áreas de pendiente del terreno que tienen posibilidades de recarga para el acuífero se presentan en la figura 4. En este apartado es importante reconocer que más del 75 % de la UH (504 km²) tienen de baja a muy baja la posibilidad de infiltrar agua de lluvia en el suelo debido a que las pendientes son mayores a 30 % de inclinación, lo que favorece el escurrimiento superficial y con ello acelerar los procesos erosivos en los suelos de la microcuenca.

Cobertura y uso actual de suelos

La mayor parte de la extensión territorial de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba está siendo utilizada por sistemas de pasto y árboles dispersos; incluye una extensión aproximada de 213 ha que comprende el 33 % del área total de la cuenca. En segundo lugar 180 ha que representa el 28 % del área total de la cuenca corresponden a cultivos anuales. Áreas menores están ocupadas por vegetación arbustiva, bosque latifoliado ralo y bosque de coníferas (25 %, 12 % y 13 % respectivamente) en la figura 5 queda evidenciado como estas variables combinadas (cobertura + uso) nos arroja un resultado de moderada recarga para el territorio.

Litología de la unidad hidrográfica

Con base al levantamiento del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), en el año 2004, la litología en el área se caracteriza por poseer dos tipos de formaciones, que se describen a continuación:

Formación atagalpa. Esta formación se caracteriza por poseer rocas volcánicas y sedimentarias, compuesta por tobas riolíticas- dacíticas, lavas andesíticas -basálticas, ignimbritas y

areniscas. De acuerdo con el grado de permeabilidad que poseen este tipo de rocas estas permiten normalmente una moderada posibilidad de recarga a los acuíferos del sitio, y abarcan un área aproximada de 280,87 ha. Que representa un 43,2 % del área total de la unidad hidrográfica.

Formación grupo coyol inferior. Esta formación posee únicamente rocas de origen volcánico compuesta por lavas basálticas, andesíticas, riolíticas-dacíticas; aglomerados. De acuerdo con el grado de permeabilidad que poseen este tipo de rocas estas las posibilidades de recargan oscilan entre baja y moderada recarga hídrica a los cuerpos, abarca un área de 369,41 Ha que representa un 56,8 % del área respectiva (figura 6).

Estos resultados son determinantes, porque su aporte ofrece un panorama general y datos exactos del comportamiento de la dinámica del agua en las capas de los acuíferos, que hay en la unidad hidrográfica.

Zonas potenciales de recarga hídrica

El estudio determinó que en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba existen cuatro categorías de posibilidad de recarga, que oscilan en una muy baja posibilidad con un área de 91 ha (14 %), 286 Ha en categoría de baja recarga (44 %), seguida por una moderada posibilidad en 214,5 Ha (33 %) y una alta posibilidad de recarga en 58,5 ha (9 %) en la cuenca. En consecuencia, el contexto físico de la cuenca se clasifica como "moderada" capacidad de infiltración de agua en el suelo. Más del 40 % del área total se ubica en la categoría de moderada a alta posibilidad de ocurrencia de recarga hídrica (figura 7).

Zonas con potencial de recarga hídrica muy baja: estas presentan zonas con cobertura y uso menor al 30 % dado que hay una alta presencia de pasto más árboles dispersos y poca vegetación permanente o está fragmentada. Poseen suelos con presencia de rocas en sus perfiles, texturas arcillosas, franco-arcillosas a arcillo limosas y pendientes de onduladas a fuertemente escarpadas, debiendo restringir las actividades agropecuarias en las áreas con pendiente fuertemente escarpadas para evitar que se continúe deteriorando el suelo e implementando obras de conservación de suelos y agua en aquellas áreas donde se cultive en pendientes onduladas. En estas áreas, el escurrimiento superficial es alto por las características del relieve y el tipo de suelo, además, las características de geología no favorecen la recarga del acuífero.

Delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba

Zonas con potencial de recarga hídrica muy baja: esta región enseña propiedades semejantes a las regiones anteriormente descritas, donde además encontramos un relieve ondulado

(15-45 % de pendiente), con predominio del uso agropecuario y ciertos fragmentos de bosque latifoliado ralo, de esta forma como condiciones de geología que no favorecen la recarga.

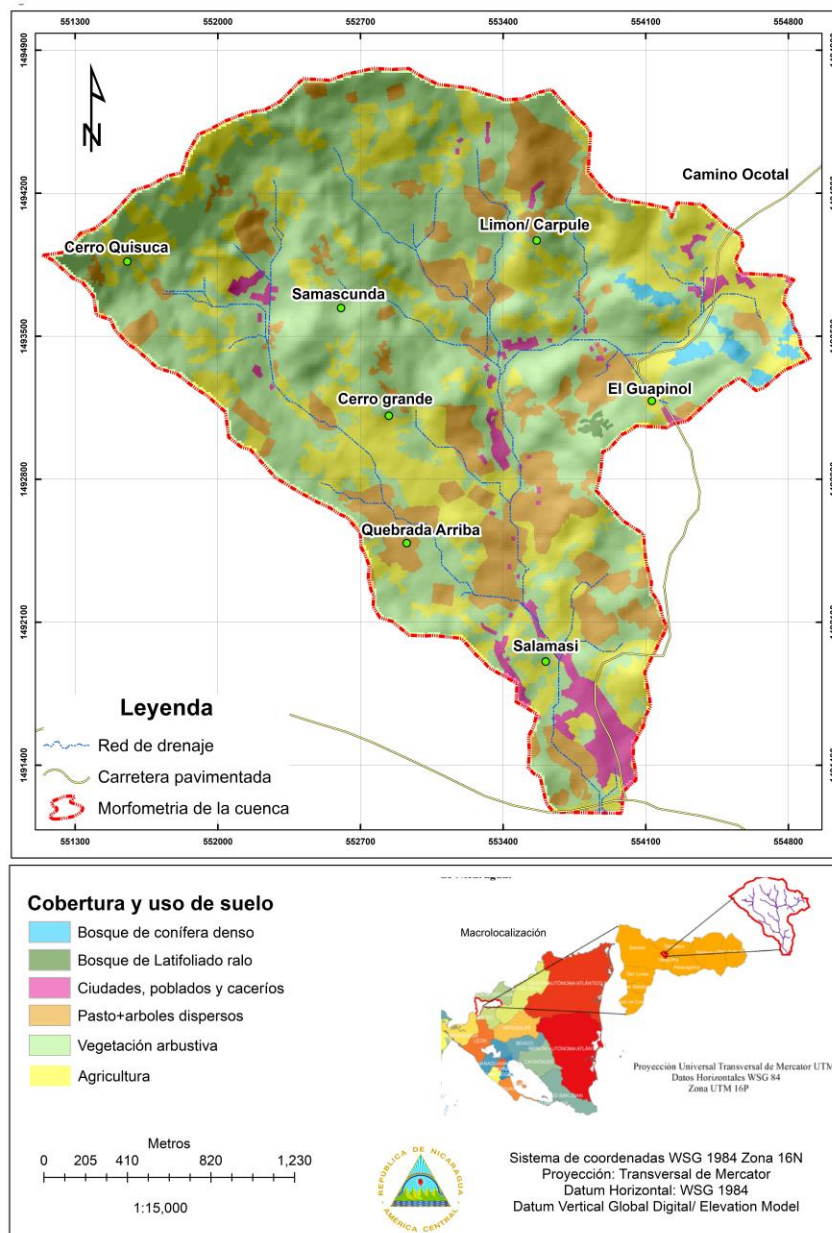


Figura 5. Cobertura y uso de suelo de la unidad hidrográfica QA.

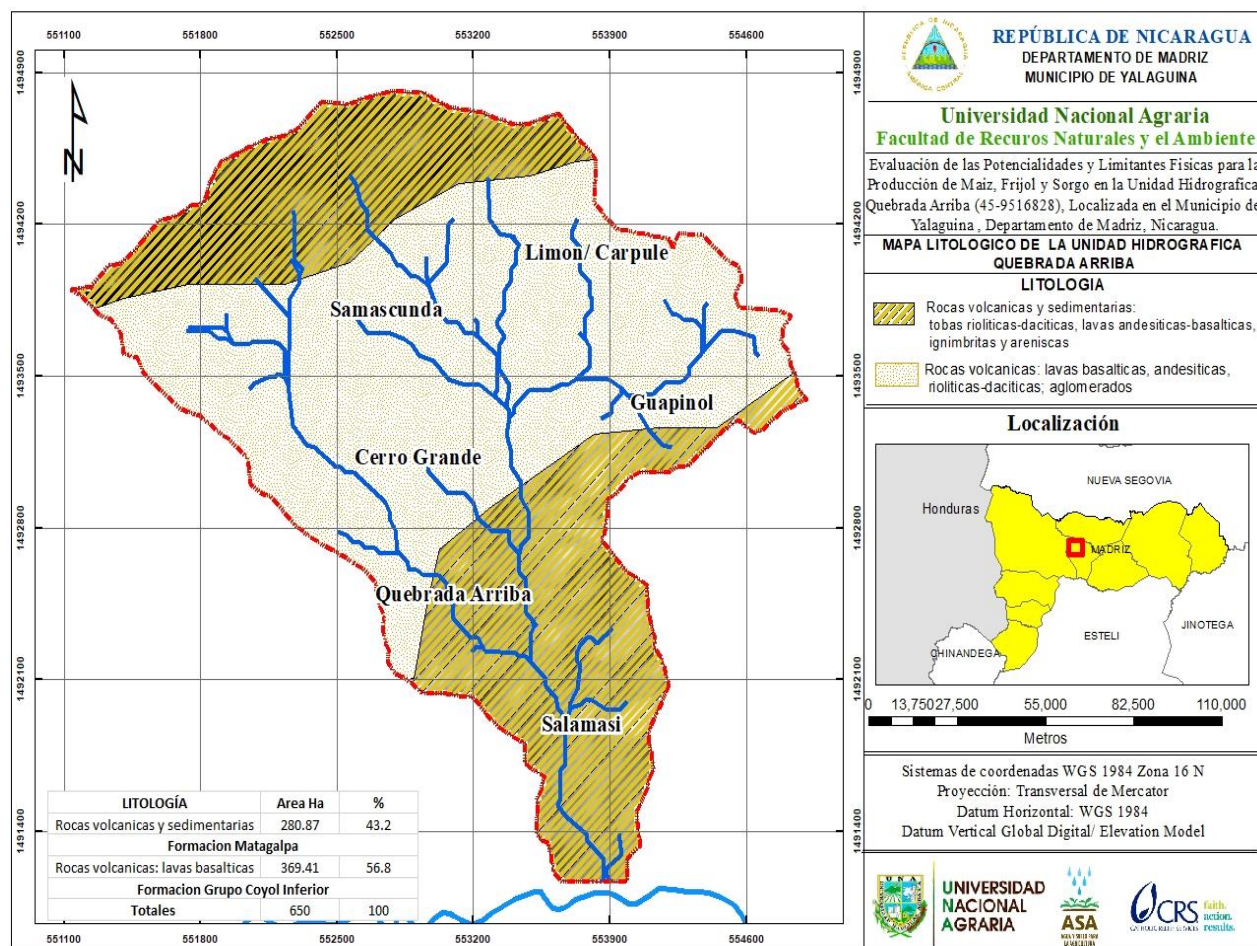


Figura 6. Litología de la unidad hidrográfica QA.

Zonas con potencial de recarga hídrica moderada: muestran condiciones geológicas favorables y tipos de suelo asociados a texturas franco arcillosa a franco arenosa, localizados en zonas con pendientes moderadamente onduladas a onduladas. En este rango de recarga se tiene la posibilidad de encaminar actividades de conservación y protección de recursos naturales para aumentar la posibilidad de infiltración, debido a que las condiciones del área son más favorables en comparación con las superficies con potencial bastante bajo donde hay suelos bastante arcillosos o se hallan en terrenos con pendientes poderosamente escarpadas.

Zonas con potencial de recarga hídrica alta: son superficies que se localizan en terrenos planos a moderadamente ondulados, con texturas franco arcillosa a franco arenosas, estas zonas deben ser manejadas con objetivos de conservación, en especial el bosque de galería debido al elevado potencial de recarga hídrica que enseña por su cobertura y las propiedades del relieve en el cual se encuentra. Asimismo, las superficies de bosque deben ser aprovechadas de manera racional por los actores locales de la unidad hidrográfica.

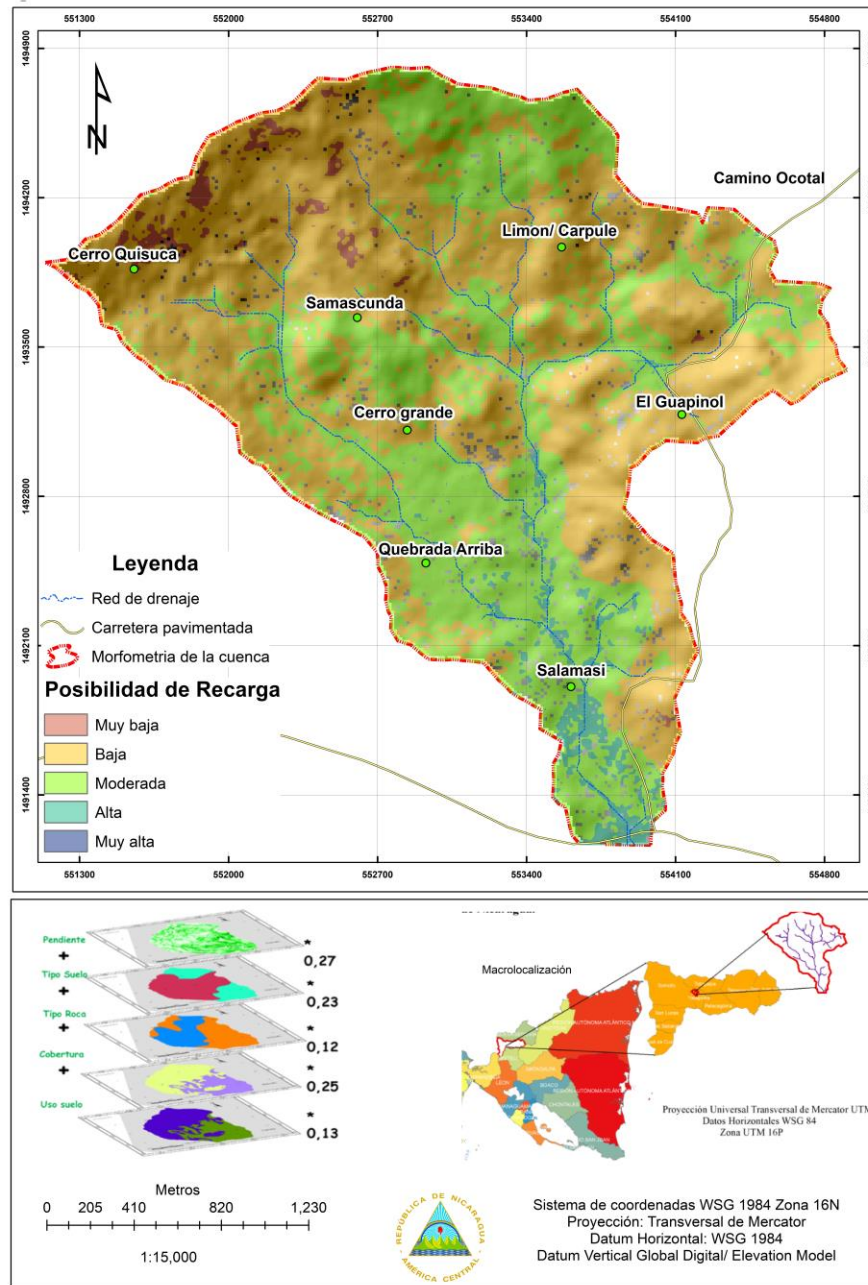


Figura 7. Mapa de zonas potenciales de recarga hídrica de la unidad hidrográfica QA.

Discusión

Las áreas con pendientes planas a casi planas que ocupan aproximadamente 7,78 ha representado el 1,19 % del área total de la unidad hidrográfica, son las que más favorecen a la recarga hídrica ya que, como sugieren Matus *et al.* (2009) en las pendientes suaves, el agua se mueve lentamente y permanece por más tiempo en contacto con el suelo lo que favorece el proceso de infiltración. Teniendo, además, un bajo escurrimiento superficial, por lo que estas áreas se clasifican

con una posibilidad de recarga hídrica muy alta, dado que su unidad geográfica en el territorio es relativamente pequeña se optó por denominarla como zonas de alta posibilidad de recarga.

Las áreas con pendientes moderadamente escarpadas ocupan una superficie de aproximadamente 80,79 ha (12,42 % respecto al área total), tienen una posibilidad de recarga alta dado que, aunque hay escurrimiento superficial en comparación con lo registrado por Úbeda (2016) el cual señala

que el agua se mueve con menor velocidad hacia las zonas más planas, permitiendo que buena parte del agua se infiltre y recarguen los acuíferos.

Las pendientes que se encuentran en el rango del 15 al 30 % que ocupan porcentaje de área de la unidad hidrográfica con 31,36 % (203,89 ha del área total de la unidad), estas son áreas que tienen potencial de recarga moderada, debido a que hay una mayor limitación para que el agua logre infiltrar, resultando que se incremente la escorrentía en volumen y velocidad (Gámez-Morales, 2010). Las áreas con pendientes mayores del 45 % de inclinación representan el 46,27 % de la superficie. Estas son áreas con una posibilidad de recarga baja y muy baja respectivamente, por la condición de tener mayores inclinaciones que hacen que el agua que precipita se escurra superficialmente con mucha más facilidad gracias a la energía cinética que según informes de la UNESCO (1986) esto se debe a que la velocidad que el agua toma en su recorrido, por lo que la infiltración será mucho más baja, incrementando a su vez los procesos erosivos en el suelo.

Las condiciones edáficas de la unidad hidrográfica Quebrada Arriba facilita potencialmente el proceso de recarga hídrica subsuperficial. Corresponde a zonas de la cuenca donde los suelos tienen capacidad alta de retener agua, sobre una base con presencia de horizontes subsuperficiales arcillosos. No obstante, la deforestación de la ribera del río expone al suelo a la erosión en general de la cuenca (Urbina y Maradiaga, 2018). La parte baja de la cuenca presenta un potencial de recarga muy alto, debido a la presencia de agregados gruesos (gravas y arenas) provenientes de las laderas. Matus *et al.* (2009) explica que se presentan buenos niveles de recarga hídrica en suelos con texturas gruesas, debido a su gran capacidad de permeabilidad.

En la Unidad hidrográfica Quebrada Arriba, se identificaron sitios con pendientes altas que favorecen el aumento en la velocidad de la escorrentía y alteran las condiciones del suelo, la capacidad de recarga y la susceptibilidad a procesos erosivos; por el contrario, en pendientes suaves, principalmente la ribera del cauce principal y sus tributarios, el agua permanece por más tiempo en contacto con la superficie, lo que ayuda al proceso de infiltración (Urbina y Maradiaga, 2018). Un dato importante y particular en el estudio, es que los mejores suelos de la cuenca, de acuerdo con su capacidad productiva, se encuentran ubicados en una zona escarpadas y degradadas, que reducen la capacidad de recarga hídrica en esta unidad de tierra; además, la parte bajas del territorio está constituida por una matriz arenosa, proveniente de una terraza

aluvial, con moderado potencial de recarga, debido al cambio de uso de suelo en el sitio de estudio.

Agradecimientos

Se agradece a toda la comunidad universitaria de la Universidad Nacional Agraria por su apoyo, en especial a la Facultad de Recursos Naturales y el Ambiente por poner a nuestra disposición a catedráticos de vasta experiencia en las ciencias del suelo y agua, agradecemos también *Catholic Relief Services* (CRS) por brindarnos las herramientas y recursos que fueron necesarios para llevar a cabo esta investigación. Finalmente, agradecemos a los actores locales de la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba por su disposición y acompañamiento en el trabajo de campo de este proceso investigativo.

Referencias

- Alberto Rodríguez, W. 2012. Análisis Espacial de la Cobertura y uso de suelos en imágenes satelitales. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Barranco Salazar, A.R. 2018. El agua subterránea y su importancia socio ambiental. <http://www.uaslp.mx/ComunicacionSocial/Documents/Divulgacion/Revista/Quince/227/227-04.pdf> . Consultado: 11 de febrero de 2020. Consultado: 15 de mayo 2020.
- Buenaño, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Parra, J., & Pérez, R. (2018). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador. *Intropica* 13(1): 41–49. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.2405>
- Gámez-Morales, W.R. 2010. *Texto básico de Hidrología Superficial (1ª ed)*. Universidad Nacional Agraria. Managua.
- Gonzales, B., y López S. 2020. Caracterización de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica en la Microcuenca del Río La Carreta, Municipio de Cinco Pinos, Chinandega, 2018. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- González-Carrasco, W. 2011. Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá. Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- GWP (Global Water Partnership). 2016. Situación de los recursos hídricos en Centroamérica. Nicaragua. URL: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpcam_files/srh_ni

[caragua_2016.pdf](#) . Consultado: 15 de septiembre 2020.

Instituto de Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM). 2012. Caracterización del Municipio de Yalagüina. Madriz, Nicaragua. URL: <https://es.scribd.com/doc/137753725/Caracterizacion-Yalaguina-Tgl-2012> . Consultado: 27 febrero de 2018.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). 2014. Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la Metodología Pfafstetter. Managua, Nic: GIZ Nicaragua. <http://www.ana.gob.ni/DocumentosSiAGUA/slideshow/Album%20Cuencas%20Nic%20Revisado.pdf> . Consultado: 01 de julio 2019.

International Union of Soil Sciences (IUSS). 2008. Base referencial mundial del recurso suelo: Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Roma.

La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL). 2004. Características generales del País Análisis Sectorial De Agua Potable Y Saneamiento De Nicaragua. URL: https://www.paho.org/nic/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=desarrollo-Aostenible-y-salud-ambiental&alias=32-analisis-sectorial-de-agua-potable-y-saneamiento-nic&Itemid=235 . Consultado: 10 de mayo de 2020.

Maderey-Rascón, L.E. 2005. *Principios de Hidrogeografía: Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

Matus, O., Faustino, J. y Jiménez, F. 2009. *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa,*

Nicaragua. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba.

Ordoñez-Gálvez, J.J. 2011. Cartilla Técnica: Aguas subterráneas –Acuíferos. URL: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneas.pdf . Consultado: 11 de febrero de 2020.

Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero, C. 2003. *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Editorial. Mundi-Prensa. Madrid.

Rodríguez, D.M y Pérez Álvarez, P. 2014. Determinación de la recarga hídrica potencial en la cuenca hidrográfica guara, de Cuba. *Aqua-LAC: Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe* 6(2): 58-70.

Sánchez Merlos, D., Harvey, C.A., Grijalva, A., Medina, A., Vílchez, S. y Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 53 (3-4) 387-414.

Úbeda, O. 2016. Potencial a deslizamientos de tierra y zonas de recarga hídrica en la subcuenca del Río Musunce, Madriz, Nicaragua. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

Urbina, A., y Maradiaga, E. 2019. Evaluación del Potencial Biofísico para la Producción de Maíz (*Zea mays* L.), Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en la Unidad Hidrográfica Quebrada Arriba (45-9516828), Yalagüina, Madriz. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

Citar como: Urbina-G, A.A. y Maradiaga-F, E.V. 2021. Delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, departamento de Madriz, Nicaragua. *Intropica* 16(1): *postprint* . Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.3813>.